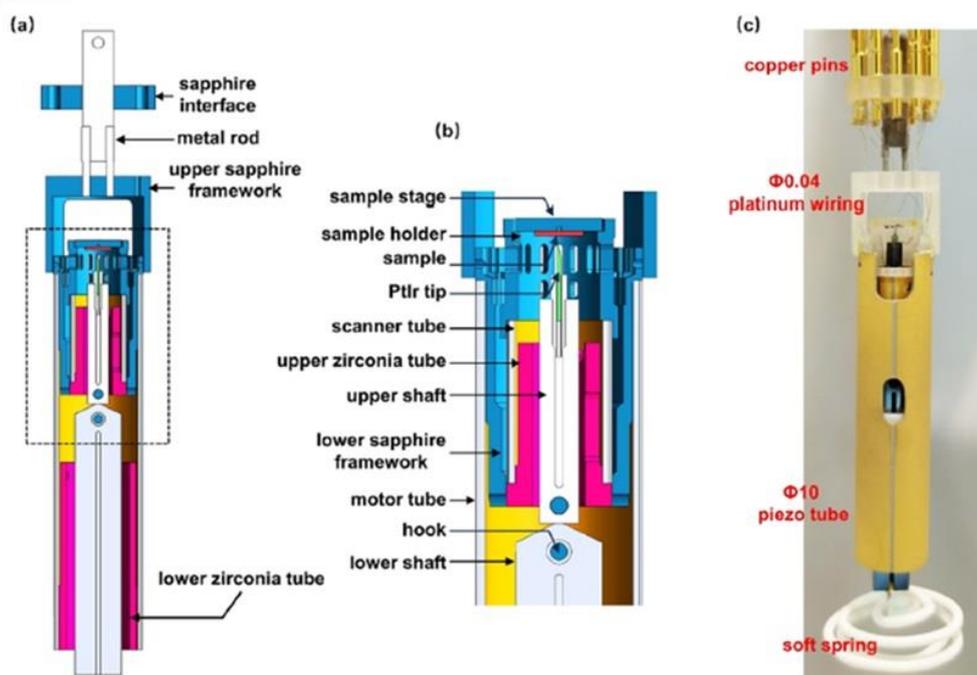


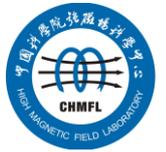
国内外强磁场实验室 科研动态

2024 年第二季度



中国科学院强磁场科学中心

2024/7/15



前 言

本科研动态的宗旨是为强磁场领域的科研技术人员提供国际上最新的科研成果以及各强磁场实验室发展动向，每季度发布一期。以下是美国、欧洲、日本和中国的强磁场实验室简介。

美国国家强磁场实验室

National High Magnetic Field Laboratory 又称 MagLab，是目前世界上规模最大，实验设施最全，用户最多的强磁场实验室。其稳态场部分位于 Tallahassee，脉冲场部分位于 Los Alamos，另有一个 high B/T 组位于 Gainesville。MagLab 于 1994 年建成并不断升级改造，创造并保持了多项世界纪录。

欧洲强磁场实验室

European Magnetic Field Laboratory (EMFL) 是由法国 Grenoble 的稳态场、Toulouse 的脉冲场、荷兰 Nijmegen 的稳态场以及德国 Dresden 的脉冲场实验室于 2015 年组合而成，有统一的用户申请入口。

日本强磁场实验室

日本的强磁场实验室没有整合在一起。比较著名的实验室有东京大学的 MegaGauss 实验室，东北大学的超导材料高场实验室 (HFLSM) 和 NIMS 的筑波磁体实验室 (TML)。

武汉脉冲强磁场科学中心

武汉的强磁场实验室隶属于华中科技大学，全称为国家脉冲强磁场科学中心(筹)，其磁体装置 2014 年通过国家验收，建有 12 个三种类型的系列脉冲磁体，最高场强达到 90.6 T，位居世界第三、亚洲第一。

中国科学院强磁场科学中心

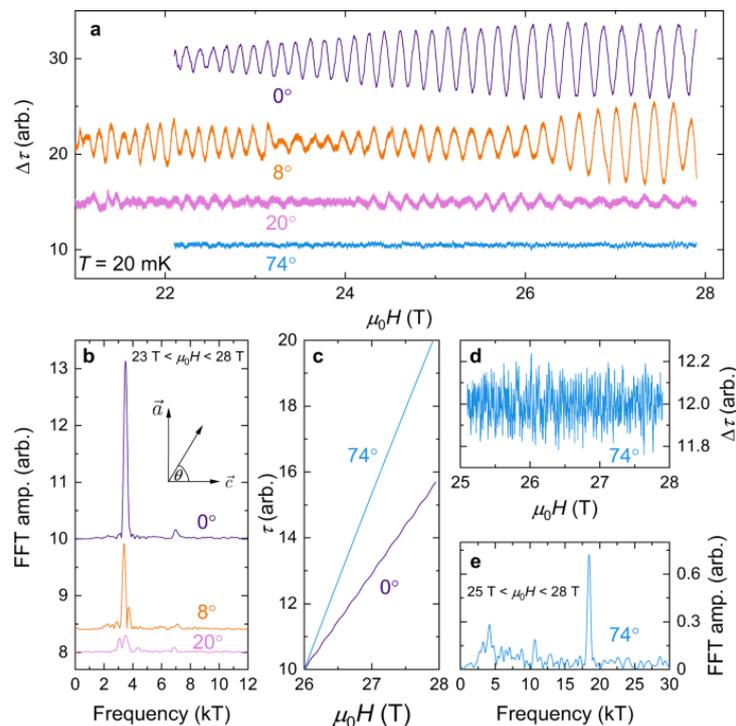
中国科学院强磁场科学中心位于合肥科学岛，其建设的稳态强磁场实验装置是世界上仅有的两个稳态磁场超过 40T 的装置之一。稳态强磁场实验装置有 3 台水冷磁体创造世界纪录，混合磁体最高磁场达到 45.22T，是目前全球范围内可支持科学研究的最高稳态磁场，磁体技术和综合性能处于国际领先地位。

科 研 动 态

1. 美国国家强磁场实验室

● 非常规超导体 UTe_2 中的准二维费米面

碲化镧(UTe_2)呈现出大量奇异的物理现象, 包括成对密度波配对以及多种磁场和压力诱导的超导态。鉴于 UTe_2 的超导临界温度仅为 2K, 因此其中至少有一种超导态可以持续到 >60T 的强磁场, 这构成了一个巨大的难题。像 UTe_2 这样的自旋三重超导体在自然界中极为罕见, 是实现下一代拓扑保护量子计算的前景广阔的途径。



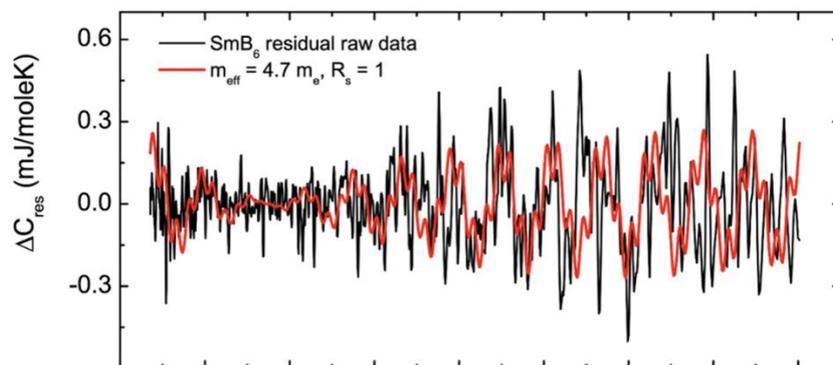
在超低温下应用强磁场, 能够详细绘制非常规超导体 UTe_2 的电子特性图。研究人员进行了旋转和随温度变化的量子振荡研究, 以全面绘制出 UTe_2 的费米面。测量结果解析了两个准二维圆柱形薄片, 其有效质量非常大, 超过自由电子静止质量的 40 倍, 这表明量子关联效应很强。

Cite: [A.G. Eaton et al. Nature Comm. 15, 223 \(2024\)](#)

装置: 32T 超导磁体 (极低温)

● SmB₆ 的磁量子震荡

直到最近, 所有表现出量子振荡的材料都可以归类为金属。原子中电子的能级随着磁场的增大或减小而越过占据和未占据之间的分界线时, 就会发生量子振荡。在绝缘体中, 电子被“锁定”在完全占据的能级上, 在外加磁场的作用下无法移动。由于 SmB₆ 是绝缘体, 它本不应该出现量子振荡。然而, 科学家在强磁场下测量比热时观察到量子振荡。科学家们相信, SmB₆ 的量子力学可能有助于产生这些奇异的准粒子, 它们不带电荷, 却具有像电子一样的磁性。具有这些特性的材料可能会推动技术进步, 产生更高效的热电材料、量子计算和其他独特的电子设备。



Cite: [P.G Barre, et al. J. Phys. Conden. Matter 34, 36LT01 \(2022\)](#)

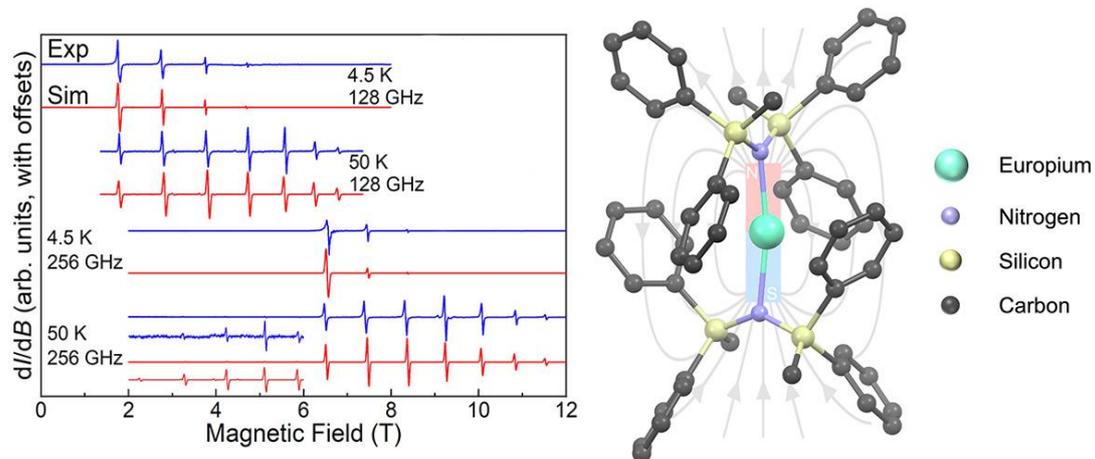
装置: 32T 超导磁体 (比热)

● 制造出首个铈(II)单分子磁体

这项研究讨论了一种特殊磁性分子的产生, 在这种分子中, 两个氮原子与一个铈离子以近乎直线的方式相连。与通常的铈失去三个电子的状态不同, 这

里的铈只失去两个电子，因此与众不同。这种分子可以被磁化，即使在低温下也能保持“南北”两极对齐。为了更好地理解这种行为，并将其与理论预测进行比较，我们进行了高场电子顺磁共振（EPR）测量。

这是第一个基于铈的单分子磁体（SMM）的例子，这是一种可以永久磁化的分子。这一特性出乎意料，因为铈在更常见的状态下是非磁性的，然而这项工作为单分子磁体的开发提出了新的战略，它在分子级数据存储应用方面具有令人兴奋潜力。



Cite: [D. Errulat et al. Nature Comm. 15, 3010 \(2024\)](#)

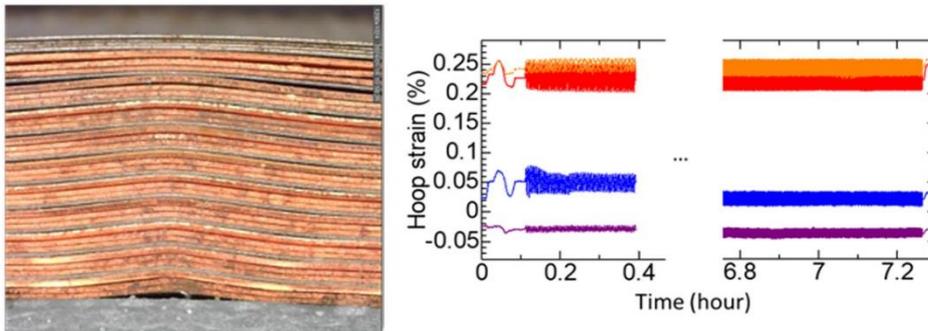
装置：超导磁体（EPR）

● 测试超导 REBCO 线圈中的高场、高应力条件

使用 REBCO（稀土氧化钡铜）高温超导体制造的线圈在循环轴向压力和电磁负荷的组合负荷下进行了测试。测试结果表明，线圈可以承受 80MPa 的循环压力，带材变形角度可达 10°。此外，还确定线圈在箍压中的应变超过 -0.4% 时会发生弯曲。

磁体工程师将利用这些数据帮助完成 40T 全超导磁体的设计，并对其充满信心。REBCO 高温超导带材非常薄，大约只有头发丝粗细，宽约四分之一到半

英寸。这些带材被缠绕成线圈，就像一卷卷的丝带或胶带，然后堆叠起来并相互连接，在新一代 40T 磁体中形成嵌套在一起的线圈堆。当磁铁通电时，正是在这堆线圈中，极强的磁力压向带材的薄面。最重要的是了解带材在这些磁负荷下的极限，以验证 40T 磁体的设计在整个使用寿命期间都能得到支持。找到带材的形变点也将用于确保在最终设计中不会超出这些限制。



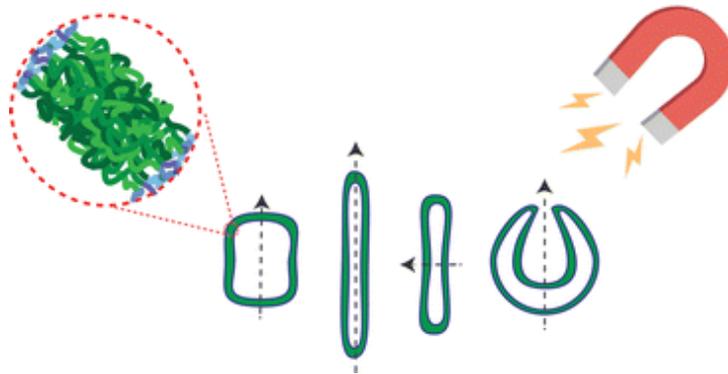
Cite: [Iain Dixon et al. IEEE Trans. Appl. Supercond. 32, 4603204 \(2022\)](#)

2. 欧洲强磁场实验室

● 聚合物中的聚苯乙烯的磁各向异性

利用聚合物的抗磁性各向异性来表征聚合物及其聚集体是软物质和聚合物研究领域的一种相对较新的方法。对于晶体和单个分子，获得抗磁性各向异性通常相对简单，无论是通过实验方法还是计算。然而，由于聚合物聚集体的随机性，一直缺乏对其抗磁性的良好而透彻的定量描述。我们使用一个简单的方程，将平均聚合物重复单元的磁性与任何形状（圆盘、管、棒、口状细胞）的聚合物囊泡的磁性联系起来，利用磁双折射测量了聚（乙二醇）聚苯乙烯（PS）聚合物囊泡膜内 PS 重复单元的平均抗磁性各向异性，该值随 PS 长度和制备方

法而变化。研究小组发现所有聚合物囊泡形状的各向异性都非常相似，这表明在每种情况下单个聚合物的组织都非常相似。此外，实测值只是聚合物完全组织时最大值的很小一部分（~1%），但它足以用于排列和变形各种形状的聚合物囊泡，尽管是在相当高的场下。因此，我们预测，膜内聚合物的进一步排序将在更低的磁场下产生类似的响应，可能通过永磁体获得，这对于实际应用非常有利。



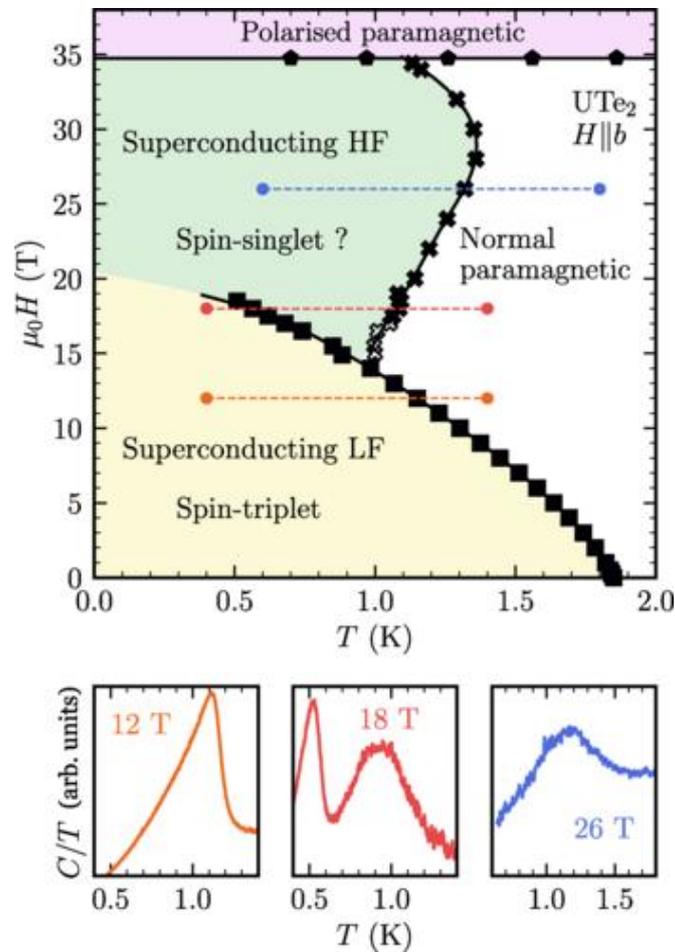
Cite: [*Roger S. M. Rikken, et al. Soft Matter 20, 730-737 \(2024\)*](#)

装置：水冷磁体（荷兰）

● 调控超导体的配对机制

最近发现的超导体 UTe_2 ，其超导转变温度 T_c 介于 1.5 和 2 K 之间，由于具有强烈的自旋三重超导性和拓扑超导性而备受关注。它在磁场下的特性也非常显著，具有 b 方向磁场强化和 (b, c) 面上的磁场诱导超导相。在此，我们首次报告了沿三个晶体学方向施加磁场时相图的完整热力学测定结果。对于沿易磁化 a 轴施加的磁场，我们在非常接近 T_c 的位置发现了上临界磁场的强负曲率，揭示了低磁场下配对强度的强抑制。相比之下，沿着难磁化 b 轴进行的高达 36 T 的测量证实了体磁场强化超导相。最重要的是，它们还揭示了超导相中存在一条相变线。低场相和高场相之间出现了巨大的差异，这表明存在不同的配对机

制。详细分析表明，低场自旋三重态可能过渡到高场自旋小旋涡态，这在超导体中是独一无二的。



Cite: [A. Rosuel, et al. Phys. Rev. X 13, 011022 \(2023\)](#)

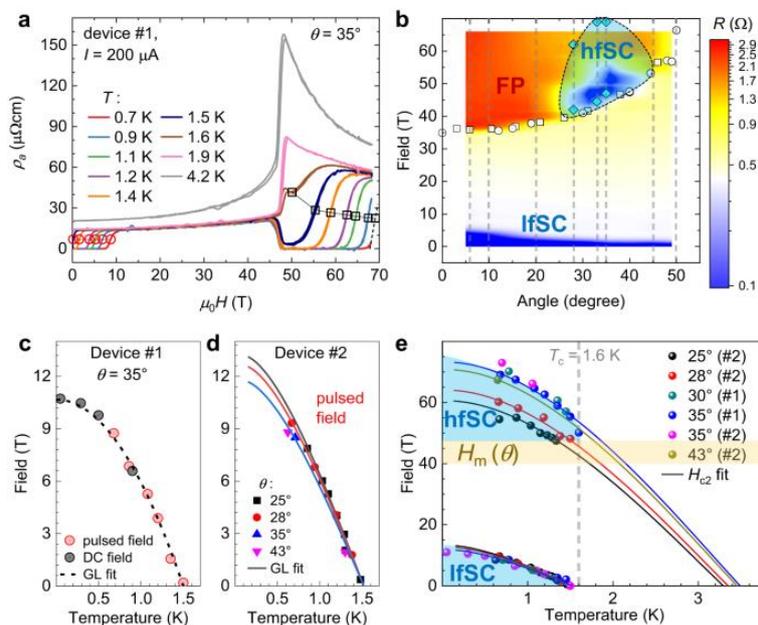
装置：水冷磁体（法国）

● UTe_2 高场重入超导的可能起源

最近，重费米子金属 UTe_2 中发现了临界温度约为 2 K 的超导性 (SC)，这引起了极大的兴奋，因为它的临界场达到了接近高温超导体的值。此外， UTe_2 很快就成为拓扑自旋三重态 SC 的潜在候选者，它在场或压力下表现出多个非常规超导相。自旋三重态 SC 是一种罕见现象，预计会因强关联材料中的磁波动而出现。它的特点是对外部磁场具有特别高的稳定性，因为塞曼能量对库珀

配对没有影响。事实上， UTe_2 的一个关键特性是各向异性的上临界场，它在所有场方向上都超过了所谓的泡利极限。

对于沿 b 轴排列的场，SC 可以存活到 35 T 的变磁转变。一旦磁场从 b 轴向 c 轴倾斜，在 H_m 上方就会出现一个可重入的超导相。为了了解这种具有极强抗场性的超导相，EMFL 团队与来自德国、法国和日本的研究人员一起在脉冲磁场中进行了磁扭矩和磁输运测量。他们确定了破纪录的上临界场 73 T 及其随角度的变化。在电输运研究中他们发现，当磁场从难磁化 b 轴倾斜时，正常状态霍尔效应会受到剧烈抑制。霍尔效应的最小值与高场 SC 的 H_{c2} 最大值相关。这暗示在约 30° 的角度范围内， H_m 上方的能带极化会降低，这是由于施加场和内部交换场之间的部分补偿造成的。这使得 Jaccarino-Peter 效应成为 H_m 以上出现可重入超导性的可能机制。



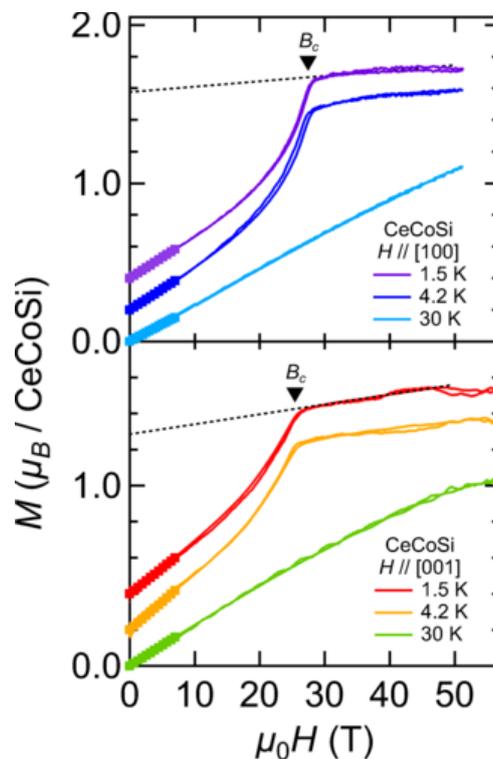
这些结果为未来的实验和理论提供了指导，这些实验和理论将更定量地展示可重入超导性是否以及如何出现。这种情况对超导相的潜在序参量施加了特定的限制。解决由重准粒子构成的库珀对如何在极端磁场中生存的谜题无疑将有助于推进我们对非常规超导体的根本理解。

Cite: [Toni Helm, et al. Nature Comm. 15, 37 \(2024\)](#)

装置: 脉冲磁体 (德国)

3. 日本强磁场实验室

- 强磁场下 CeCoSi 的磁各向异性



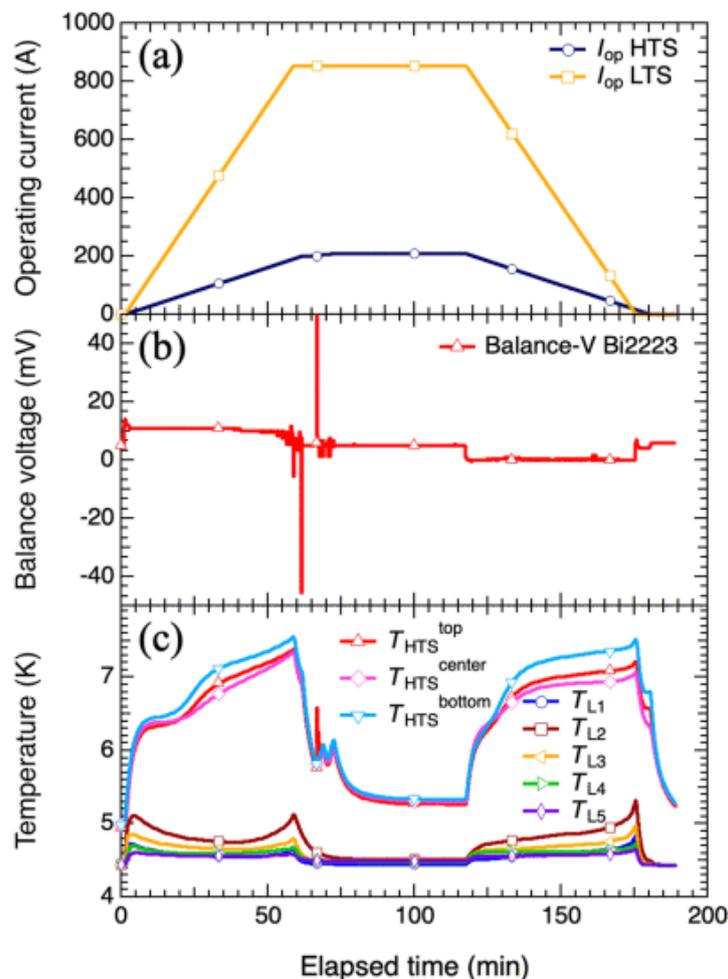
我们在高达 55 T 的脉冲强磁场下，通过磁化、磁致效应、非接触电阻率、比热和磁力矩测量，研究了钴基近藤晶格系统 CeCoSi 的强磁场特性。结果表明，CeCoSi 显示出一种非常规的有序相，即介于顺磁相 I 和反铁磁相 III 之间的有序相 II。磁化、磁卡效应和非接触电阻测量确定了 II-III 相边界的角度依赖性。磁矩测量检测到所有相在强磁场下的磁各向异性具有四重对称性，这意味着在四方结构的 (100) 或 (110) 平面上存在两个难磁化轴。通过平均场计算与磁化数据的对比，我们确定了晶体电场能量方案，这与之前的非弹性中子散

射实验相吻合。我们通过计算成功地再现了四倍磁各向异性，这归因于晶体电场波函数的杂化。杂化增加了多极自由度，II相非常规有序的起源。此外，在II相中，4 K 以下的比热呈现出非谐波的 T^3 项，这表明 II 相不是简单的极化顺磁态，而可能是四极有序态。

Cite: [T. Kanda, et al. Phys. Rev. B 109, 174402 \(2024\)](#)

装置：脉冲磁体

● 25 T 无液氦超导磁体 7 年的开放运行回顾



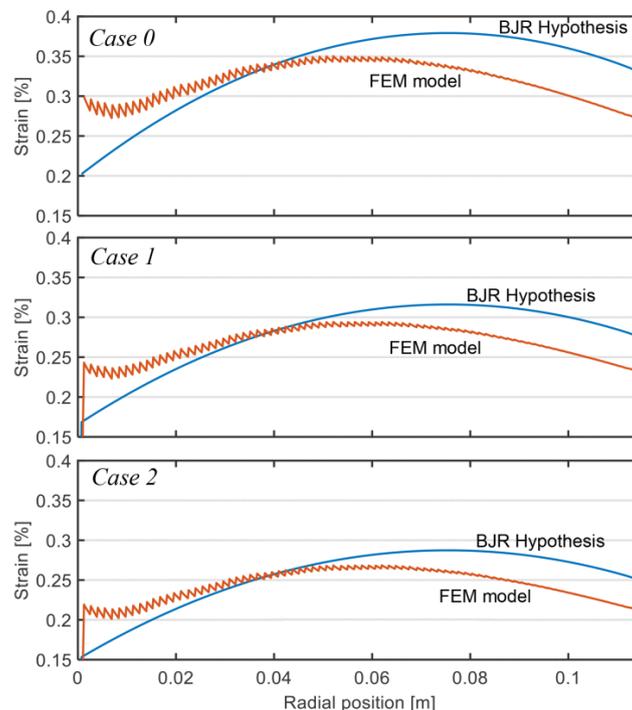
2015 年，东北大学 HFLSM 实验室安装了 25 T 无液氦超导磁体 (25 T-CSM)。25 T-CSM 由低温超导 (LTS) 外包线圈和高温超导 (HTS) 线圈组成，LTS 线圈和 HTS 线圈分别采用了高强度的 CuNb/Nb₃Sn 和 NbTi 卢瑟福电缆以

及 Bi2223 带。Bi2223 线圈是一叠浸渍双饼 (DP) 线圈。2015 年, 第一个 Bi2223 线圈在 14.0 T 的 LTS 背景场中产生了 10.6 T。由于线圈刚度不足, 它存在电不稳定性。新的 Bi2223 线圈通过改进 DP 的刚度, 在 2020 年成功产生了 11.1 T (总计 25.1 T)。在作为用户磁体运行期间, 两个 Bi2223 线圈都经历了意外淬火。不过, 磁体的淬火检测和保护系统保护了包括 LTS 线圈在内的线圈免受损坏。七年来, 25T-CSM 作为多用途用户磁体运行了 1100 多天, 这意味着几乎 100% 的可用天数都用于用户实验。

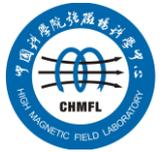
Cite: K. Takahashi, et al. IEEE Trans. Appl. Supercond. 34, 4601905 (2024)

装置: 超导磁体

● 33 T 无液氦磁体 REBCO 插入件的概念设计



东北大学 HFLSM 实验室正在开发 33 T 无液氦磁体。它由一块 14 T 的大孔径 LTS 背景磁体和一块 19 T 的 REBCO 插入件组成, 这也是本次工作的重点。由于它是传导冷却式的, 而且必须快速升温, 因此插入线圈首选传统的隔



离薄饼式设计。它将沿用以前工作中已经介绍过的坚固耐用的 REBCO 线圈概念，采用所谓的边缘浸渍技术，实现应力再分布和传导冷却，导体由两条带材共同缠绕而成，以确保可靠性。不过，确切的导体结构尚未确定，特别是在机械加固方面。在这项工作中，利用建模方法，从两个角度讨论了 REBCO 线圈的设计：线圈的机械性能和与 LTS 背景磁体结合使用时的局部热失控保护。强调了机械和电气裕度之间的必要权衡，为未来 33 T 插入磁体结构的选择提供了指导。

Cite: [Arnaud Badel, et al. IEEE Trans. Appl. Supercond. 34, 4301205 \(2024\)](#)

装置：超导磁体

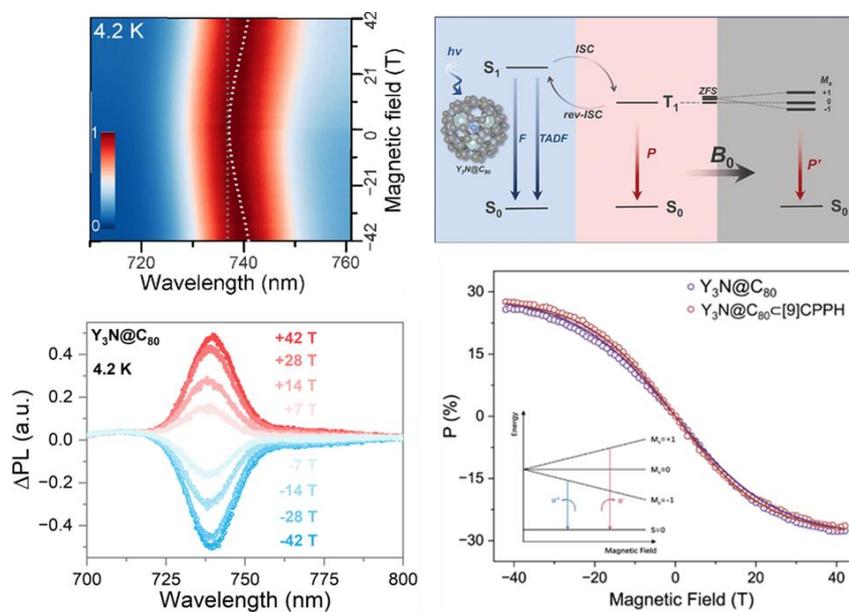
4. 武汉脉冲强磁场科学中心

● 发现具有磁致发光响应的金属富勒烯分子

磁场效应 (Magnetic field effects) 是研究材料科学和器件工程的有力工具，其在调节自旋极化、载流子动力学和光电器件等电子相关功能方面发挥着至关重要的作用。其中，磁致光致发光 (MPL) 是指磁场可以改变材料和器件的光致发光的一种现象，在半导体科学中常用来探究激子的基本性质。在分子材料中也可以实现 MPL 响应，因为磁场可以改变分子激发态的单线态和三重态布居，进而影响分子发光的强度。近年来，科学家利用 MPL 发现光学可寻址分子自旋体系可用于量子信息科学和自旋光电子学。这些成果表明，探索更多具有显著 MPL 响应的分子材料具有重要意义。

该工作研究了内嵌金属富勒烯 $Y_3N@C_{80}$ 三重态的 MPL 特性(如图 1)，发现

在外加强磁场和超低温下, $Y_3N@C_{80}$ 的磷光向长波方向移动(如图 2 上), 其机制源于分子自旋三重态的塞曼分裂。再者, 将 $Y_3N@C_{80}$ 与碳纳米环进行主客体组装来构建超分子复合物, 实现了碳纳米环主体对 $Y_3N@C_{80}$ 客体磁致发光响应的调控。最后, 研究了 $Y_3N@C_{80}$ 及其超分子复合物的场致圆偏振性质(如图 2 下)。该工作揭示了金属富勒烯 $Y_3N@C_{80}$ 在量子化能级上表现出与量子点相似的磁致发光响应, 这类具有磁致发光响应的分子材料可以应用于先进光学器件和与自旋相关的量子科学技术。



Cite: [Chaofeng Zheng et al. Adv. Opt. Mater. 12, 2303334 \(2024\)](#)

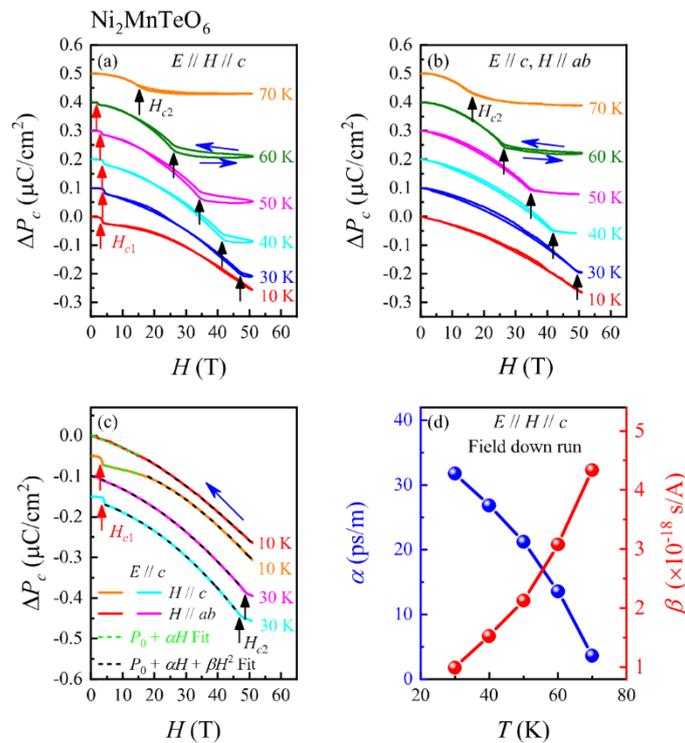
装置: 脉冲磁体

● 多重极端磁性团队连续在《物理评论 B》发表磁电耦合研究成果

磁电多铁性材料是一种多个铁性序耦合的单相功能材料, 具有丰富的物理特性和潜在的应用价值, 是凝聚态物理的研究热点之一。相较于传统磁电多铁性材料的相变温度低、极化强度小、磁电耦合弱等不足, 以 $Fe_2Mo_3O_8$ 和 Ni_3TeO_6 为代表的一些极性磁体因其所具有的极化强度大、磁电耦合强而备受

关注。除多铁性之外，该类材料也是研究反常/拓扑 Hall 效应、反铁磁孤子、非互易效应等新奇物理现象的理想平台。

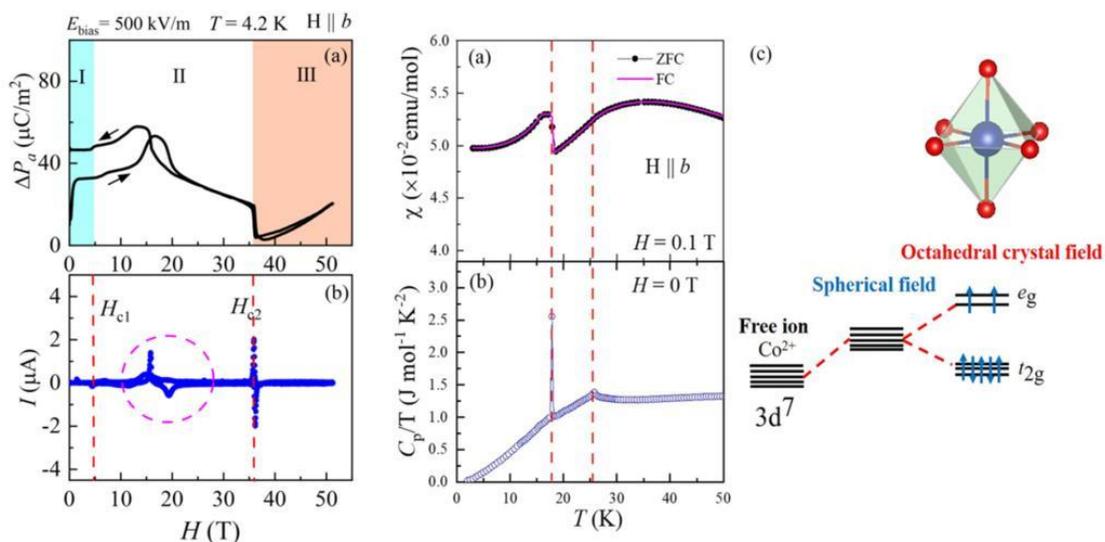
此项研究中，刘俊明课题组报道了极性反铁磁体 $\text{Ni}_2\text{MnTeO}_6$ 单晶在 55T 强磁场下的连续性磁相变和磁电耦合属性，并揭示磁电耦合背后的物理机制。研究发现，除低磁场区 H_{c1} 处发生的 spin-flop 相变之外，当温度 $T > 30\text{K}$ ，磁场 $H // c$ 和 $H // ab$ 时，在高磁场区的 H_{c2} 处发生新的磁相变；更为重要的是，在 $H // c$ 和 $H // ab$ 下，铁电极化 P 与磁场 H 的关系分别在 $H < H_{c2}$ 和 $H_{c1} < H < H_{c2}$ 范围内符合 $DP_c \sim aH + bH^2$ 关系，其中 a 和 b 分别为一阶和二阶线性磁电耦合系数。随着温度升高， a 减小而 b 增加，说明低温区磁电耦合由一阶效应主导，而在高温区则是由二阶磁电效应主导。分析发现，这种磁场和温度依赖的磁电耦合属性与交换收缩机制中自旋在 c 方向的分量大小密切相关。该项工作为极性磁体中磁电耦合机制的理解提供了新的视角。



Co_3TeO_6 是一种具有复杂磁性和电性的多铁性材料（空间群为 $C2/c$ ），在

低温下展现出连续的磁相变（在 $\sim 26\text{K}$ 出现反铁磁序和在 $\sim 18\text{K}$ 发生一级相变），并与晶格、自旋和轨道自由度间的相互作用有关。此外，它也表现出电偶极矩和铁电性，在磁场作用下其电极化的改变与磁相变密切关联。这种磁电耦合的特性使得 Co_3TeO_6 成为研究磁场和电场对多铁性材料性质调控的理想平台。

此项研究中，研究团队通过改进方法制备了高质量的 Co_3TeO_6 单晶样品，并研究了其在 55T 磁场下的磁相变和磁致多铁行为。研究发现， Co_3TeO_6 展现出强烈的各向异性，除在 26K 的反铁磁相变和 18K 的一级相变，还在强磁场下呈现出更复杂的磁相变行为。例如，当磁场 $H//b$ 时，磁化强度在 H_{c1} 和 H_{c2} 处显示两个新的 spin-flop 转变。铁电极化 ($H//b$ 和 $E//a$) 测量结果也揭示了三个不同的铁电相区域 (I、II 和 III)，其相边界兼容于磁相变的临界场 H_{c1} 和 H_{c2} ，表明铁电相与磁相之间存在强烈的关联性——铁电极化受控于磁性序参量的演变过程。在 $H//b$ 时，磁化率上磁矩的跳变行为与比热上 C_p/T 的一级相变是一致的，这种一级相变行为可能与 Co^{2+} 离子 t_{2g} 轨道简并态的消除或者与电荷重新分布形成的电荷密度波有关。该项工作为探究复杂磁电耦合体系中自旋、轨道和晶格等对铁电极化的调制行为提供了新的研究视角。



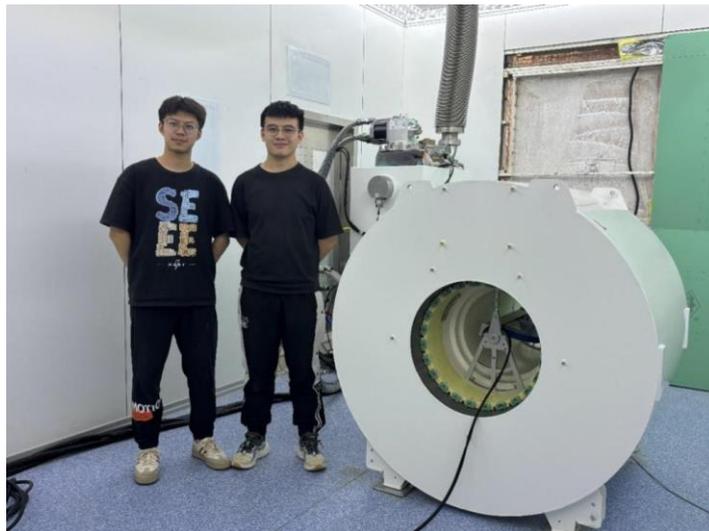
Cite: [J. H. Zhang et al. Phys. Rev. B 109, 184112 \(2024\)](#); [C. B. Liu et al. Phys. Rev. B 109, 214408 \(2024\)](#)

装置：脉冲磁体

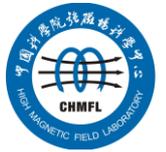
● 1.5T 头部磁共振成像超导磁体系统完成装机

6月17日，历时两年时间，由国家脉冲强磁场中心宋运兴研究员团队与北京昌平实验室合作研制的1.5T头部磁共振成像超导磁体系统顺利完成装机，系统各项指标均达到行业标准，成像区间磁场均匀度和磁场漂移等核心指标高于行业标准。此次系统的成功装机，表明宋运兴研究员团队在超导磁体技术研究方面已具备行业先进水平，将为我国磁共振成像设备的自主研发奠定坚实基础。

据介绍，该磁体系统采用轻量化设计理念，整体重量为1.5吨，重量仅为国际同类产品的1/3。主要技术指标方面，该系统具有优异的空间均匀性和时间稳定性，26cm球磁场不均匀度小于3ppm，磁场漂移小于0.01ppm/hr，性能水平远超行业标准。



宋运兴研究员表示，下一步，团队将继续致力于超导磁体技术的研发，不断推动技术进步，为医疗和科研提供更先进的设备和解决方案。



5. 中科院强磁场科学中心

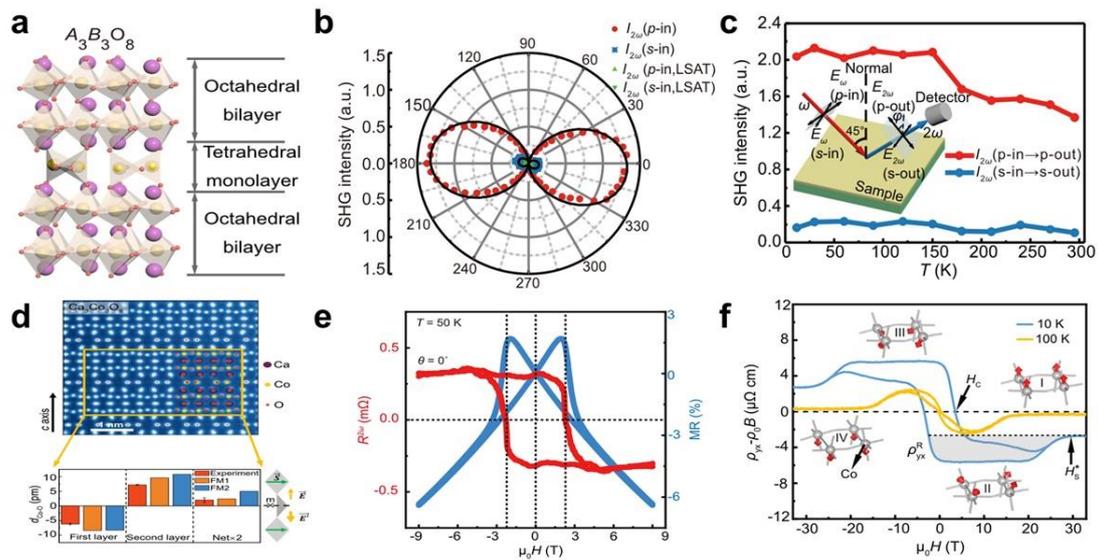
● 本征铁磁极化金属研发

不同于电磁场中电场与磁场的相伴而生，材料中的电极化序和磁序似乎在“有你无我，有我无你”的排他状态。类似地，在自由电子屏蔽图像下，金属体系排斥内部电极化序的存在，所以传统观念上电极化材料和绝缘体是划等号的。这种固有认知被安德森（P. W. Anderson）及其合作者布朗特（E. I. Blount）所挑战[Phys. Rev. Lett. 14, 217 (1965)]：二人论证了电极化序和金属性共存的可能，冠以两人名字的 Anderson-Blount 极化金属由此诞生。受到多铁性材料中磁电耦合效应的启发，将铁磁性引入到电极化金属中具有重要科学意义。然而，在单一材料中，同时将电极化、铁磁性以及电极化、金属性这两对看似相互矛盾的性质内禀地耦合在一起，面临着巨大的挑战。

清华大学于浦教授课题组提出以氧多面体作为材料物性调控基元，从而有效拓展了新型量子物态的研究思路。通过对氧空位序的原子精度操控，他们创制出一种全新的具有准二维结构的功能氧化物—— $\text{Ca}_3\text{Co}_3\text{O}_8$ 。该材料综合了双层 Ruddlesden-Popper (RP) 结构和 BM 结构的基本特征。随后，他们与中国科学院合肥物质院强磁场科学中心盛志高研究员团队合作，依托 SHMFF 超快非线性光学测试系统，采用二次谐波产生技术从宏观上证明 $\text{Ca}_3\text{Co}_3\text{O}_8$ 中存在显著的电极化序。该结果与电子叠层成像的微观结构观察相结合，发现了电极性的主要贡献来自于双层 CoO_6 八面体中 Co 离子的位移。同时，SHMFF 超快二次谐波产生的温度依赖测量结果显示，该材料的电极化在磁转变温度以下明显增强，表明了电极性和磁性间的耦合关联作用。此外，八面体层还兼具铁磁性和金属性，使得 $\text{Ca}_3\text{Co}_3\text{O}_8$ 中体现出铁磁性、电极化与巡游电子间的强

耦合关联。Ca₃Co₃O₈中的铁磁极化金属态为研究金属体系中的磁电耦合效应提供了理想研究平台。

另外，研究团队在这一新的铁磁极化金属态材料中发现了零磁场下的本征非互易电阻效应，即沿同时垂直于电极化与磁化强度的两个相反方向施加电流会得到大小不等的电阻响应。更为有趣的是，依托 SHMFF 水冷磁体 WM5 电输运测试系统，研究团队观察到了显著的拓扑霍尔效应，而且该体系中拓扑霍尔效应在宽温区 (0~140 K) 和大磁场范围 (0~30 T) 都保持稳定，显著区别于传统拓扑霍尔体系。本材料中的强鲁棒性拓扑霍尔不但拓展了研究人员对于磁性材料和磁相互作用的理解，也为自旋电子学基础科学研究和应用探索提供了一个良好的材料载体。



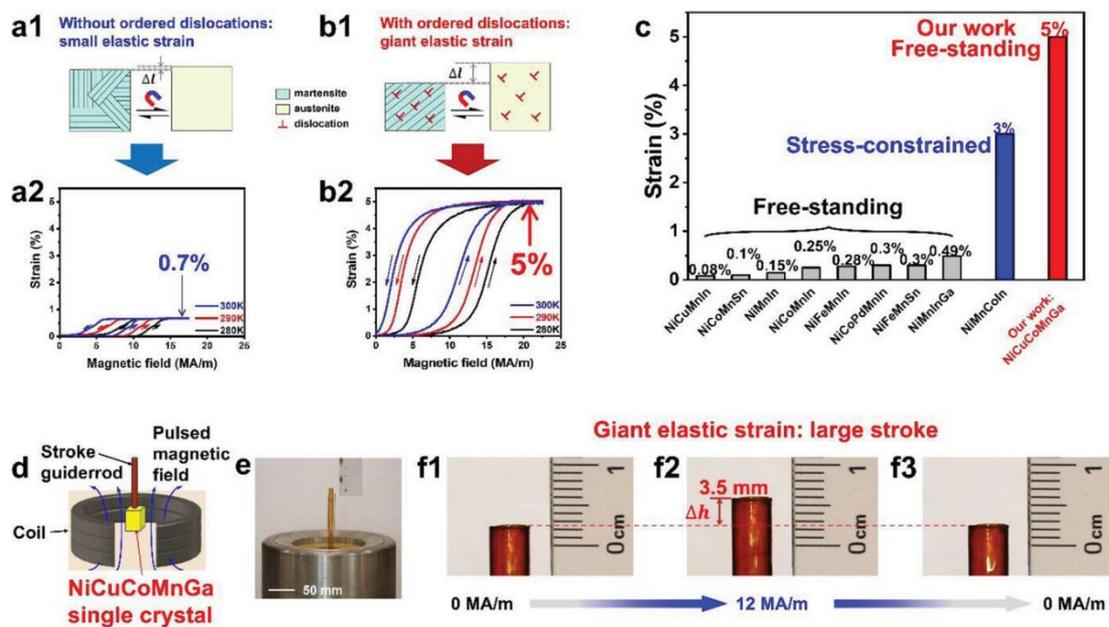
Cite: [Jianbing Zhang et al. Nature Mater. 23, 912–919 \(2024\)](#)

装置：水冷磁体

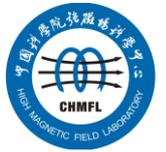
● **Ni₃₄Co₈Cu₈Mn₃₆Ga₁₄ 单晶的巨大磁致超弹性效应**

现代工程技术，如行程控制、换能驱动、精密加工、能量收集等，都需要

高性能的驱动、换能和传感器件。如果材料在磁场作用下能够输出可恢复的弹性应变，将有利于其在高性能器件中的无接触工作。传统的磁致伸缩材料，其磁致弹性应变仅 0.2%。磁驱动形状记忆材料，基于磁场驱动结构转变，具有输出巨大磁致超弹性应变的潜力。然而，目前报道，在无约束的自由状态下，磁驱动形状记忆材料的磁致弹性应变小于 0.6%。在预压力约束下，磁致弹性应变可达 3%，但由此导致器件结构复杂，应用受限。在自由状态下，仅由磁场诱发的巨大磁致超弹性效应未见报道。



SHMFF 用户团队基于稳态强磁场实验装置所属水冷磁体 WM5，系统研究了 $\text{Ni}_{34}\text{Co}_8\text{Cu}_8\text{Mn}_{36}\text{Ga}_{14}$ 单晶在磁场作用下的电输运和磁致弹性应变效应。通过电输运测量，证明了该单晶可由磁场驱动发生结构转变。应变研究表明，生长态单晶的磁致弹性应变仅为 0.7%。研究团队通过 40 MPa 的压应力对单晶进行了应力约束相变循环(SCTC)训练，引入有序位错阵列。之后，移出施加的外部压应力，在自由态单晶中，检测到应变高达 5% 的巨大磁致超弹性效应。基于 $\text{Ni}_{34}\text{Co}_8\text{Cu}_8\text{Mn}_{36}\text{Ga}_{14}$ 单晶的巨大磁致超弹性效应，设计了脉冲磁场驱动器件，



实验表明, $\text{Ni}_{34}\text{Co}_8\text{Cu}_8\text{Mn}_{36}\text{Ga}_{14}$ 单晶的磁致超弹性效应具有对磁场的快速响应特点。

该项研究工作, 对于研发高性能超弹性材料及器件有重要意义, 为材料的非接触式做功以及新型大行程作动器和高效能量传感器的开发奠定了重要基础。

Cite: Qijia Yu et al. Adv. Sci. 11, 2401234 (2024)

装置: 水冷磁体

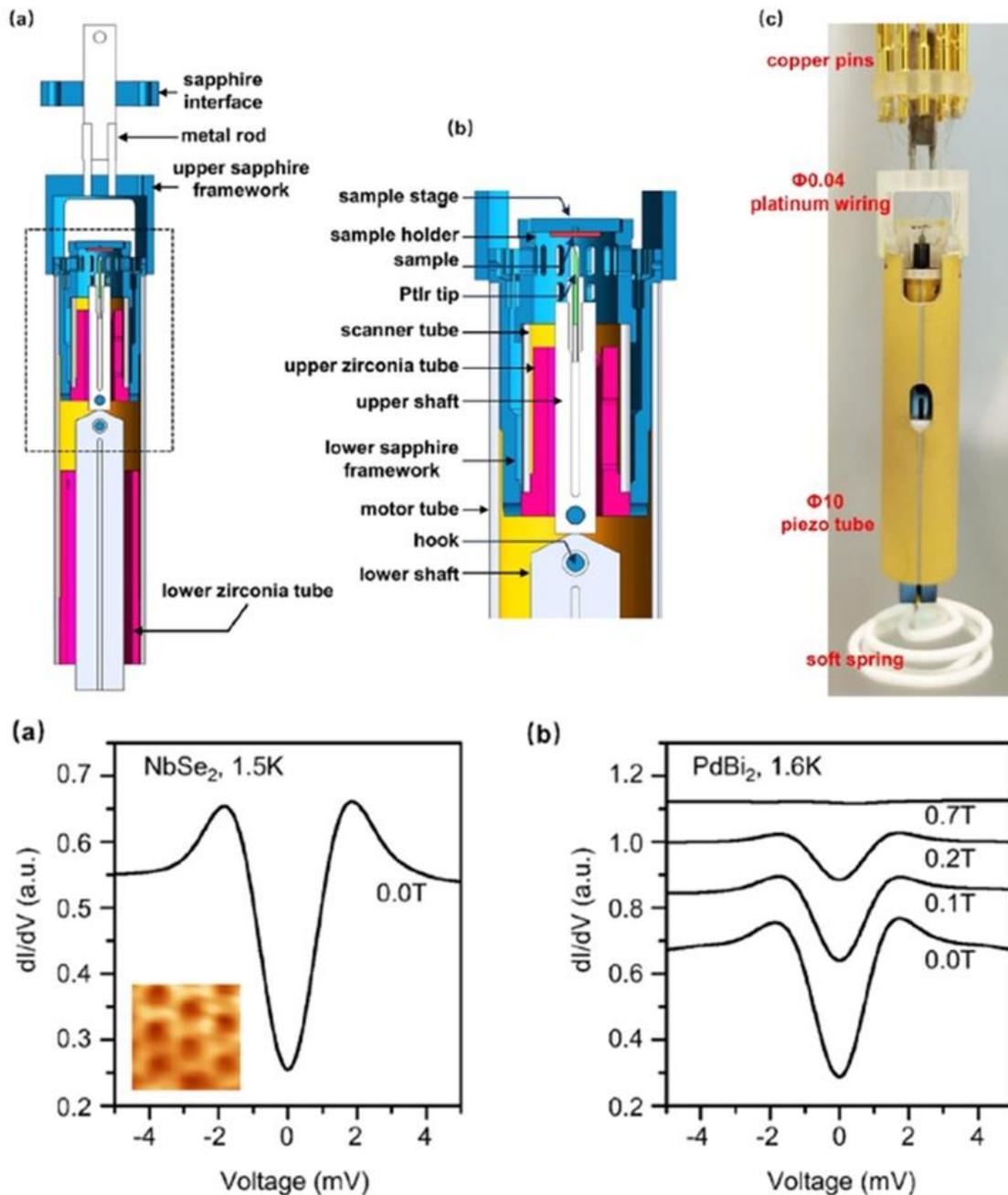
● 低温强磁场扫描隧道显微镜的最新研制成果

扫描隧道显微镜是一种在原子尺度上对材料结构及谱学进行可视化研究的技术。这些方法所采集的测量数据可以用于了解凝聚态物质的新奇量子性质, 如超导性, 这些研究需要低温和强磁场环境的支持。然而, 在一个狭小空间的低温强磁场环境安装具有原子分辨率的扫描隧道显微镜 (STM) 是困难的。

研究团队设计了一种精巧的镜体结构, 将扫描隧道显微镜的探针扫描器集成在一个外径为 10mm 的粗逼近压电马达 (SpiderDrive) 内部, 成功的开发出一种外径仅 10mm 的超紧凑型扫描隧道显微镜, 在 30mm 孔径的超导磁体中实现了对材料的表面局域电子态进行高分辨显微成像及谱学研究, 磁场强度高达 17T, 温度低于 2K。在 Scilight 的专访中, 陆轻铀研究员说到: “精心切割的外部压电管负责 STM 的粗定位, 克服了空间限制, 蓝宝石被用于 STM 的机械结构, 利用其高硬度和非金属性来增强高场兼容性。此外, 小尺寸导致更高的共振频率, 意味着更好的抗震能力。”

这项工作证明了该超紧凑型扫描隧道显微镜在低温、强磁场及狭小空间等恶劣环境下的工作能力, 为在水冷磁体及混合磁体的超高磁场下对凝聚态物质

的新奇量子性质进行原子尺度的成像及谱学研究奠定了坚实的基础。该论文发表于国际著名仪器期刊 *Review of Scientific Instruments*, 被选为 Featured (Editor' s pick)文章, 并被美国物理联合会《科学之光》(AIP Scilight) 专访报道。



Cite: *Min Zhang et al. Rev. Sci. Instrum. 95, 033704 (2024)*

专访报道链接: <https://doi.org/10.1063/10.0025685>